

Search: DE19747433



## Anzeige der Ergebnisse aus WPINDEX Datenbank

ANTWORT 1 © 2006 THE THOMSON CORP on STN

### Title

Semiconductor LED has a reflection reducing quarter wavelength layer stack of semiconductor materials.

### Derwent Class

A85 L03 U12

### Inventor Name

GENG, C; GERNER, J

### Patent Assignee

(VISH-N) VISHAY SEMICONDUCTOR GMBH

### Patent Information

DE 19747433	A1 19990506 (199924) *	11	H01L033-00
JP 11251642	A 19990917 (199949)	10	H01L033-00

### Application Details

DE 19747433 A1 DE 1997-1047433 19971028; JP 11251642 A JP 1998-327408 19981014

### Priority Application Information

DE 1997-19747433 19971028

### International Patent Classification

ICM H01L033-00

### Graphic



applied epitaxially so that change-over to special dielectric material application equipment is not required and the LED is inexpensive and technically simple to produce.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) – The drawing shows a cross-sectional view of an LED with a reflection reducing layer arrangement.  $\lambda/4$  layers 1

High refractive index  $\lambda/4$  layer 1hi

Low refractive index  $\lambda/4$  layer 1lo

Window layer 2

Upper cladding layer 3

Active zone 4

Lower cladding layer 5

Reflection layer 6

Semiconductor substrate 7

Contact 8

Light output interface 9

External material 11

Dwg.1/7

**Accession Number**

1999-278567 [24] WPINDEX

**Document Number, Non CPI**

N1999-208763 DNC C1999-081978

---

---

**Sitzungskosten: ~ 12.48**



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 47 433 A 1**

⑥① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 33/00**

⑳ Aktenzeichen: 197 47 433.0  
㉔ Anmeldetag: 28. 10. 97  
㉕ Offenlegungstag: 6. 5. 99

**DE 197 47 433 A 1**

⑦① Anmelder:  
Vishay Semiconductor GmbH, 74072 Heilbronn, DE

⑦② Erfinder:  
Geng, Christian, Dr., 74080 Heilbronn, DE; Gerner,  
Jochen, Dipl.-Phys., 69168 Wiesloch, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
BLUDAU, W.: "Halbleiter-Optoelektronik" Carl  
Hanser Verlag München, Wien (1995) S. 188-189;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Lichtemittierende Halbleiterdiode**

⑤⑦ Ziel ist die Verbesserung der Effektivität von lichtemittierenden Halbleiterdioden bei vertretbarem Kostenaufwand.

Durch Abscheidung von wenigstens einem, vorzugsweise mehreren Paaren aus einer ersten und einer zweiten halbleitenden Schicht, die beide jeweils eine optische Dicke von einem Viertel der Wellenlänge der Lichtwellen aufweisen und deren Brechungsindizes sich in einer vorgegebenen Reihenfolge befinden, kann durch destruktive Interferenz eine Herabsetzung der insgesamt wirksamen Reflexion und eine Erhöhung der austretenden wirksamen Lichtleistung erzielt werden, ohne den Stromfluß zwischen dem Oberflächenkontakt und der aktiven Zone nennenswert zu beeinträchtigen. Gleichzeitig kann bei entsprechender Wahl der Materialien auch an den Grenzflächen zwischen den Schichten wenigstens eine Banddiskontinuität mit einer Anreicherungszone für die Majoritätsladungsträger zur lateralen Stromausbreitung genutzt werden, wodurch die Lichtleistung gleichmäßiger und insbesondere auch auf die nicht von der Kontaktfläche verdeckten Bereiche der aktiven Zone verteilt wird. Vorzugsweise sind die atomaren Bestandteile der Schichtanordnung auch bereits in der Halbleiterdiode vorhanden, so daß diese epitaktisch ohne Zuführung neuer Stoffe herstellbar ist.

**DE 197 47 433 A 1**

Die Erfindung betrifft eine lichtemittierende Halbleiterdiode gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Schichtanordnungen zur Veränderung, bspw. Herabsetzung, der Reflexion von Lichtwellen an einer Grenzfläche zwischen Stoffen mit unterschiedlichem Brechungsindex sind theoretisch von Weißmantel/Haman: Grundlagen der Festkörperphysik, 2. Aufl. 1981, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 708 ff. zu entnehmen. Als die optische Dicke einer Schichtanordnung wird die mit dem Brechungsindex  $n$  des Stoffes multiplizierte geometrische Schichtdicke bezeichnet. Dadurch soll die sich in Abhängigkeit vom Brechungsindex verändernde Wellenlänge von Lichtwellen berücksichtigt werden, denn die Wellenlänge im Medium ist die Wellenlänge im Vakuum  $\lambda$  geteilt durch den Brechungsindex des Mediums  $n_{\text{Medium}}$ . Die geometrische Dicke  $d$  einer  $\lambda/4$ -Schicht, wie sie von Weißmantel/Hamann vorgeschlagen wird, ergibt sich gemäß der Formel:  $d = \lambda_{\text{Vakuum}} / (4n_{\text{Medium}})$ .

Zu entnehmen ist auch, daß bei optischen Schichtdicken von  $\lambda/4$  der Wellenlänge  $\lambda$  der Lichtwellen im jeweiligen Medium oder einem ungeradzahligen Vielfachen von  $\lambda/4$  es zur Interferenz der ankommenden und reflektierten Lichtwellen kommt. Als wesentlichste Materialien haben sich dabei für den Bereich der Halbleitertechnik dielektrische Materialien, bspw.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{SiON}$  oder metallische Oxide ( $\text{TiO}_x$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) herausgestellt, die als Bandpaß oder Bandfilter eingesetzt werden können. Dielektrika werden fertigungstechnisch jedoch in einem getrennten Prozeß erst nach der Epitaxie aufgetragen.

Von Lin/Wu/Jou/Chang/Lee/Tsai wurde in Electronics Letters 13. Oktober 1994, Vol. 30, No. 21 S. 1793 f. eine  $\lambda/4$ -Schicht aus Indium-Tin Oxide (ITO) vorgestellt, deren Brechungsindex deutlich unter dem von Halbleitermaterialien liegt und somit die Reflexion positiv beeinflusst. ITO-Schichten weisen außerdem eine sehr gute Leitfähigkeit auf, wodurch sie für LEDs mit einer Kontaktfläche auf der Lichtaustrittsoberfläche anwendbar sind und zusätzlich die Stromausbreitung verbessern, was später noch erläutert werden soll. ITO-Schichten sind jedoch aufgrund des hohen Materialpreises und des Fertigungsaufwandes aus Kostengründen ungeeignet.

Neben transparenten Einfachschichten, die jedoch ein periodisches Frequenzverhalten aufweisen, sind auch Systeme mit mehreren Schichten bekannt. Die physikalischen Grundprinzipien sind von Born/Wolf: Principles of Optics - Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, Pergamon Press, 5. Aufl. 1975, insb. S. 64 bis 69 behandelt worden. Wie bei Weißmantel/Hamann auf S. 716 f. zu entnehmen, erhöht sich durch Mehrfachschichtanordnung jedoch im allgemeinen die Reflexion in einem vorbestimmbaren Frequenzbereich, so daß reflektierende Systeme mit einer Bandfiltercharakteristik entstehen.

Diese gerade entgegengesetzt der beabsichtigten Herabsetzung der Reflexionen wirkenden Schichtenanordnungen werden als Bragg-Reflektoren bezeichnet und insbesondere bei LEDs an der Grenze zum absorbierenden Substrat eingesetzt, um den sonst in das Substrat wirkungslos entweichenden Energieanteil zurückzulenken, wie bspw. der US 5565694, der JP 07176788 oder der EP 473362 sowie bspw. der Publikation von Baets/Demeester/Lagasse in Journal Appl. Phys. 62 (2), 15. Juni 1987 zu entnehmen ist.

Der EP 0 349 193 ist eine dielektrische Mehrschichtanordnung mit  $\lambda/4$ -Schichten abwechselnden Brechungsindizes zu entnehmen. Vorteil der dielektrischen Materialien sind die relativ hohen Brechungsindexunterschiede und die elektrische isolierende Wirkung, da diese Schichtanordnun-

gen seitlich an der Facette von Lasern angeordnet werden. Leitfähige Materialien würden die optisch aktiven Schichten des Lasers, insbesondere den pn-Übergang überbrücken. Die seitliche Facettenanordnung dieser Schichten ist nicht geeignet epitaktisch integrierbar, was den Aufwand vervielfacht.

Die GB 2 134 282 zeigt dielektrische Schichten auf einem Substrat mit niedrigem Brechungsindex, wie Glas, Saphir oder Plastik zur Entspiegelung des von außen auftretenden Lichts.

Isolierende Schichten, insbesondere die nach dem Stand der Technik bekannten Oxidschichten, sind jedoch für die Lichtaustrittsfläche auf der Oberseite lichtemittierender Halbleiterdioden ungeeignet, sofern diese auch wie üblich von oben kontaktiert werden. Die Fertigung solcher Schichten ist außerdem aufwendiger.

Um die Lichtleistung derartiger Halbleiterdioden weiter zu verbessern, ist außerdem bekannt, die laterale Stromausbreitung von dem Kontakt auf der Halbleiteroberfläche hin zu der aktiven Zone im Halbleitermaterial zu verbessern. Grundsätzlich ist die Stromdichte direkt unter der Kontaktfläche immer am höchsten. Da jedoch die Kontaktfläche auch als reflektierende Blende für das freigesetzte Licht wirkt, ist eine gute Stromverteilung auch in den nicht von der Kontaktfläche verdeckten Bereichen der aktiven Zone anzustreben.

Eine mögliche Lösung für LEDs wird in der EP 0 434 233 B1 dargestellt, indem eine relativ dicke transparente Fensterschicht mit gegenüber der aktiven Schicht geringem spezifischen Widerstand zwischen Ausgangs- und Wirkfläche angeordnet wird. Die EP 0 551 001 A1 zeigt den dabei entstehenden Effekt der quasi kegelförmig zunehmenden Stromausbreitung besonders anschaulich. Die EP 0 434 233 B1 gibt die erforderliche Dicke einer derartigen Fensterschicht mit 2 bis 30  $\mu\text{m}$  an. Auch aus dem Artikel von Sugawara/Itaya/Ishikawa/Hatakoshi in Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 31 (1992), S. 2446-2451 ist ein sogenannter "current spreading layer" von 7  $\mu\text{m}$  Dicke (vgl. S. 2449) sowie in Fig. 4 des Artikels die Verbesserung der Lichtausbeute deutlich zu entnehmen. Von Huang/Yu/Kuo/Fletcher/Osentowski/Stinson/Craford in Appl. Phys. Letters 61 (9), 31. August 1992, S. 1045 ff. ist ebenso eine dicke Fensterschicht zur Stromverteilung zu entnehmen, wobei in diesem Artikel eine Dicke von 15 bis 45  $\mu\text{m}$  angegeben wird.

Wesentlicher Nachteil dieser dicken Fensterschichten ist die gegenüber den aktiven Schichten (Dicke  $< 1 \mu\text{m}$ ) erhebliche Dicke der Schicht, was zu einem hohen Materialaufwand und bei herkömmlichen Maschinen zu einer sehr langen Epitaxiezeit führt. Durch entsprechend aufwendige und teure Maschinen kann die Epitaxiezeit, nicht jedoch die Kosten gedrückt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Halbleiterdiode mit verbesserter Lichtleistung vorzustellen, die kostengünstig und verfahrenstechnisch einfach herstellbar ist.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Im Gegensatz zu dielektrischen Materialien sind  $\lambda/4$ -Schichten aus halbleitendem Material für oberflächenkontaktierte Leuchtdioden anwendbar, da sie elektrisch leitfähig sind. Sie werden parallel zur aktiven Zone bzw. der Lichtaustrittsgrenzfläche angeordnet, also zwischen dem Kontakt auf der Oberfläche und den tieferliegenden Halbleiterschichten. Außerdem lassen sich diese Halbleiterschichten epitaktisch aufbringen, wodurch der Wechsel zu anderen Maschinen für dielektrische Materialien entfällt. Bisher wurden Halbleitermaterialien vor allem deshalb nie in Betracht gezogen, da ihr Brechungsindex relativ hoch ist, so daß der Brechungsindexunterschied eines Schichtpaares re-

lativ gering ist. Dies kann jedoch erfindungsgemäß dadurch behoben werden, daß entsprechend viele Schichtpaare übereinander verwendet werden.

Durch Abscheidung von wenigstens einem, vorzugsweise mehreren Paaren aus einer ersten und einer zweiten Schicht, die beide jeweils eine optische Dicke von einem Viertel der Wellenlänge (oder einem ungeradzahlig Vielfachen davon) der in der aktiven Zone emittierten Lichtwellen aufweisen und deren Brechungsindizes sich in der vorgegebenen Reihenfolge zu den Brechungsindizes der angrenzenden Stoffe befinden, kann durch destruktive Interferenz eine Herabsetzung der insgesamt wirksamen Reflexion und eine Erhöhung der wirksamen Lichtleistung erzielt werden.

Die an der Grenzfläche zum ersten Stoff reflektierten Lichtwellen werden durch die innerhalb der Schichtanordnung entstehenden, genau gegenphasig reflektierten Wellen durch destruktive Interferenz ausgelöscht. Schon hierbei wird deutlich, daß die Reihenfolge der Schichten zwingend ist, da im anderen Falle die innerhalb der Schichtenanordnung reflektierten Wellen phasengleich zu den an der Grenzfläche reflektiert werden und es so zur konstruktiven statt zur destruktiven Interferenz kommt. Werden die Relationen der Brechungsindizes nicht eingehalten, so kommt es zu einem schlechteren, den Bragg-Reflektoren entsprechenden Reflexionsverhalten. Durch mehrere Paare verbessert sich die Reflektivität bis zu einem Punkt, an dem die Reflexion der Schichtanordnung an sich gegenüber den Reflexionen an der Grenzfläche zu groß wird.

Neben einer den paarweisen Schichten entsprechenden geradzahlig Anzahl von Schichten kann unter den Schichtpaaren auch noch eine einzelne, weitere  $\lambda/4$ -Schicht mit niedrigerem Brechungsindex eingefügt werden, wodurch sich die Reflektivität der Schichtanordnung entsprechend gegenüber der reinen Schichtanordnung erhöht, was zu einer Verringerung der Gesamtreflexion führt, solange die Amplitude des von der Schichtanordnung reflektierten Lichts kleiner ist als der Lichtanteil, der von der Lichtaustrittsgrenzfläche reflektiert wird.

Werden die Anzahl der Paare in der Schichtanordnung bzw. der Brechungsindexunterschied zwischen der ersten und zweiten  $\lambda/4$ -Schicht genau so gewählt, daß die Reflexion, also die Amplitude des jeweils insgesamt reflektierten Lichtes, der Schichtanordnung mit der der Grenzfläche möglichst genau übereinstimmt, so löscht sich die Reflexion an der Grenzfläche theoretisch vollständig aus. Eine einzelne zusätzliche  $\lambda/4$ -Schicht mit niedrigerem Brechungsindex ermöglicht eventuell eine noch bessere Annäherung an das Optimum.

Eine Begrenzung der Anzahl der Schichtpaare ergibt sich sinnvoller Weise auch durch den sich mit der Schichtenzahl langsam erhöhenden elektrischen Widerstand, wenngleich dieser bei den Halbleiterschichten um Größenordnungen geringer ist als bei den isolierenden Oxidschichten gemäß dem Stand der Technik.

Durch Verwendung der gleichen atomaren Grundbestandteile in den  $\lambda/4$ -Schichten der Schichtanordnung wie in den übrigen Schichten lassen sich diese Schichtenanordnungen fertigungstechnisch sehr gut in den Epitaxieprozeß der Halbleiterschichten, bspw. bei der LED-Fertigung, integrieren, da keine zusätzlichen Chemikalien zugeführt werden müssen. MOVPE (metal organic vapor phase epitaxy)-Verfahren ermöglichen die erforderliche Genauigkeit der Schichtdicke. Der Verzicht auf Oxide und die Beschränkung auf Halbleiter vermeidet auch die mit der Oxidation verbundenen Nachteile.

Eine besonders bevorzugte Weiterbildung der Erfindung ist dem Anspruch 6 zu entnehmen, die gleichzeitig zur Herabsetzung der Reflexion in überraschend einfacher Weise

auch die laterale Stromausbreitung deutlich verbessert.

Aus der Theorie der Festkörperphysik, bspw. aus Ibach/Lüth: Festkörperphysik – Einführung und Grundlagen, 4. Aufl. 1995 Springer Verlag, S. 368 ff., insb. S. 372 f. und S. 374, ist die Entstehung einer Anreicherungszone für Majoritätsladungsträger in der Heterogrenzfläche zwischen zwei Halbleiterschichten unterschiedlichen Materials oder Materialmischungsverhältnisses zu entnehmen. Voraussetzung ist letztlich ein durch die unterschiedlichen Materialien ergeben der unterschiedlicher Bandabstand, so daß es bei Einhaltung der Kontinuitätsbedingung des Fermi-Niveaus auf der Seite der Halbleiterschicht mit geringerem Bandabstand zu einer Banddiskontinuität und einer Anreicherungsraumladungszone der Majoritätsladungsträger kommt. Für die Anwendung zur Stromausbreitung ist dabei eine möglichst große Banddiskontinuität im Majoritätsladungsträgerband von Vorteil, da die entstehende Anreicherungsraumladungszone eine entsprechend große Menge an Majoritätsladungsträgern als quasi freies Elektronengas enthält. Als vorteilhafter Effekt für die Stromausbreitung erweist sich dabei, daß die Anreicherungsraumladungszone sich über die gesamte Heterogrenzfläche zwischen den zwei Halbleiterschichten ausbildet und bei entsprechend großer Banddiskontinuität es so zu einer sehr guten zweidimensionalen Beweglichkeit der Majoritätsladungsträger kommt, was von Ibach/Lüth auch als zweidimensionales Elektronengas (vgl. Ibach/Lüth, S. 374; Ansatz waren dabei zwei unterschiedliche,  $n = \text{dotierte Halbleitermaterialien}$ ) bezeichnet wird.

Wird die Banddiskontinuität im Majoritätsladungsträgerband (für p-dotierte Halbleiterschichten das Valenzband, für n-dotierte das Leitungsband) sehr gering oder gar annähernd Null, so kann aufgrund der geringen oder ganz fehlenden Diskontinuität auch keine ausreichende Anreicherung der Majoritätsladungsträger erfolgen. Die sich dabei ergebende Anreicherung der Minoritätsladungsträger ist wesentlich geringer, wenngleich eine Wirkung im Grundsatz auch da auftritt.

Die Effekte des zweidimensional frei beweglichen Elektronengases werden jedoch, wie auch aus dem Lehrbuch der Experimentalphysik von Bergmann/Schaefer, Bd. 6 – Festkörper Hrsg. Raith, Verlag Walter de Gruyter 1992 auf S. 564 deutlich wird, bisher nur in der aktiven Schicht von LEDs zur Erzielung sogenannter Potentialtöpfe auf Basis von Quanteneffekten eingesetzt, insbesondere für Multiple-Quantum-Well-Strukturen oder, wie von Ibach/Lüth auf S. 373 f. beschrieben, als modulationsdotierte Heteroübergänge, jedoch wiederum in der aktiven Schicht. Hier wird nicht die hohe Beweglichkeit des zweidimensionalen Elektronengases genutzt. Die Verwendung von Quantenfilmen dient zur Modifizierung der Zustandsdichte und bietet die Möglichkeit, daß Material pseudomorph (verspannt) herzustellen, was insbesondere in Laserdioden vorteilhaft eingesetzt werden kann, wie aus Geng, Christian: Spontane Mischkristallordnung in AlGaInP – Laserstrukturen, Shaker Verlag Aachen, 1997, Kap. 6, S. 95 ff. entnommen werden kann.

Zur Verbesserung der Stromausbreitung jedoch sind diese weitergehenden Effekte ohne Bedeutung und entsprechende Maßnahmen, wie die gezielte Wahl der Dotierungsmengen oder der geeigneten Bandabstände der zwei Halbleiterschichten nicht unbedingt erforderlich, wenngleich für die Wirksamkeit positiv. Die Dotierung kann grundsätzlich sowohl isotyp als auch verschieden (p-n, p-i-n) sein. Der Effekt eines zweidimensionalen Elektronengases wird von Delagebeaudeuf/Linh: IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-29, No. 6, June 1982, S. 955 ff. auch für pn-Heteroübergänge bei sogenannten TEG (two-dimensional electron gas)-Fet nachgewiesen und deren Rauscharmut herausge-

stellt. Wie daraus für sogenannte HEMT (high electron mobility transistors) nachgewiesen wurde, kann die Beweglichkeit der Ladungsträger durch einen i-n Heteroübergang sogar noch verstärkt werden, wobei das intrinsische Material den kleineren Bandabstand aufweisen muß. Würde das intrinsische Material mit höherem Bandabstand als das n-dotierte gewählt, kommt es zu keiner Anreicherungszone der Majoritätsladungsträger, wie anhand des bekannten Bändermodells nachvollzogen werden kann. Auch hier bei den HEMT wurde letztlich einzig der Aspekt des verbesserten Frequenzverhaltens dieser Transistoren untersucht und die laterale Stromausbreitung ist ohne Bedeutung. Heterogrenzschichtfolgen mit isotyper Dotierung und hoher Diskontinuität im Majoritätsladungsträgerband weisen eine sehr gute laterale Stromausbreitung auf.

Durch eine Anordnung mehrerer solcher Heterogrenzflächen hintereinander wird die Stromausbreitung verbessert. Vorteilhaft ist auch hierbei der besondere Effekt eines solchen sogenannten Übergitters, wie von Ibach/Lüth auf S. 374 für die modulationsdotierten Heterostrukturen benannt, wodurch sich die Anzahl der Anreicherungsraumladungszonen der Majoritätsladungsträger um den Faktor  $2n-1$  ( $n$  – Anzahl der Schichtpaare) erhöht, da bspw. eine oben und unten von je einer Halbleiterschicht größeren Bandabstandes umgebene Halbleiterschicht sowohl auf ihrer Ober- als auch auf ihrer Unterseite eine solche Anreicherungsraumladungszone der Majoritätsladungsträger aufweist. Die Stromausbreitung und damit die Leuchtleistung wird durch eine Abfolge solcher Heterogrenzschichtfolgen wirkungsvoll verbessert. Eine Abfolge solcher Heterogrenzschichtfolgen entsteht bereits durch die entsprechende Materialgestaltung der für die Reflexionsverminderung eingesetzten Schichten, indem alle diese Schichten auch entsprechend der erforderlichen Banddiskontinuität gewählt und somit eine Herabsetzung der Reflexion und eine verbesserte Stromausbreitung gleichzeitig mit einer Schichtenfolge erzielt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und Figuren näher erläutert.

#### Kurze Beschreibung der Figuren

**Fig. 1** Ausführungsbeispiel einer Leuchtdiode mit einer Schichtanordnung zur Herabsetzung der Reflexion,

**Fig. 2a** Brechungsindexverlauf im Bereich der Schichtanordnung gemäß dem Stand der Technik mit Oxidmaterialien,

**Fig. 2b** Brechungsindexverlauf bei Schichtanordnung aus halbleitenden Materialien,

**Fig. 3** Verlauf der Reflexion der Schichtanordnung gemäß **Fig. 2** in einer Auflösung von 0 bis 40 Schichtpaaren,

**Fig. 4** Reflexion in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei einer unterschiedlichen Anzahl von Schichtpaaren an der Grenzfläche zu Luft,

**Fig. 5** Stromausbreitung und Bändermodell bei Verwendung von Materialien mit Banddiskontinuität,

**Fig. 6** Details der Stromausbreitung und Banddiskontinuität aus **Fig. 5**,

**Fig. 7** Detailansichten der verschiedenen möglichen Schichtanordnungen mit und ohne zusätzliche einzelne  $\lambda/4$ -Schicht.

**Fig. 1** zeigt einen Schnitt durch eine Halbleiterdiode mit einer Schichtanordnung 1, bestehend aus einer Vielzahl von Paaren aus einer ersten  $\lambda/4$ -Schicht 1.hi mit hohem Brechungsindex und auf dieser eine zweite  $\lambda/4$ -Schicht 1.lo mit niedrigerem Brechungsindex. Die Paare sind dabei so angeordnet, daß die Schichten immer wechseln und auf der tieferliegenden Halbleiterschicht 2 mit hohem Brechungsindex

zunächst die erste  $\lambda/4$ -Schicht 1.hi mit ebenfalls hohem Brechungsindex angeordnet ist. An der Lichtaustrittsgrenzfläche 9 befindet sich die letzte  $\lambda/4$ -Schicht 1.lo mit niedrigem Brechungsindex. Die Abscheidung dieser  $\lambda/4$ -Schichtdicken bzw. ungeradzahlig Vielfacher von  $\lambda/4$  kann bspw. mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) zuverlässig erfolgen. Neben der  $\lambda/4$ -Schicht sind als Dicke natürlich auch ungeradzahlig Vielfache davon, also jede  $3\lambda/4$ -,  $5\lambda/4$ -... Schicht wirkungsgleich.

Unter der Schichtanordnung 1 befindet sich ggfs. eine Fensterschicht 2 zum Übergang auf eine neue Gitterkonstante, die obere Mantelschicht 3 der LED, die aktive Zone 4, die untere Mantelschicht 5 sowie ein Bragg-Reflektor 6 bestehend aus einer Abfolge von  $\lambda/4$ -Schichten mit unterschiedlichem Brechungsindex. Darunter ist das Halbleitersubstrat 7 angeordnet, dessen Unterseite als Kontakt 8 metallisch beschichtet ist. Die Lichtaustrittsgrenzfläche 9 liegt zwischen den  $\lambda/4$ -Schichten und dem äußeren Stoff 11 mit niedrigem Brechungsindex, der entweder die Luft direkt oder bspw. eine lichtdurchlässige Epoxid- oder Silikonmasse als Hülle sein kann.

In **Fig. 1** handelt es sich als Ausführungsbeispiel um eine AlGaInP-LED-Anordnung, die gitterangepaßt auf einem GaAs-Substrat (7) abgeschieden wurden. Angrenzend an das Substrat befindet sich die Reflexionsschicht 6, der sogenannte Bragg-Reflektor aus abwechselnden  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{As}$ -Schichten mit n-Dotierung verschiedener Komposition. Die einzelnen Schichten des Bragg-Reflektors sind jeweils  $\lambda/4$ -dick, wobei  $\lambda$  die Wellenlänge des emittierten Lichts im jeweiligen Medium ist, so daß es zu einer Reflexion des in Richtung des Substrats abgestrahlten Lichtanteils kommt. Dieser Effekt wird von Murtaza u. a. in IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 31, no. 10, Oct. 1995, S. 1819 ff. grundlegend beschrieben.

Die untere Mantelschicht 5 der LED besteht aus gitterangepaßtem  $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})\text{InP}$ , welches ebenfalls n-dotiert ist. Die Komposition y wird so gewählt, daß der Bandabstand bzw. die Energielücke der Mantelschicht 5 höher als die der aktiven Zone 4 bzw. des emittierten Lichtes ist, um für dieses quasi durchlässig zu sein. Die aktive Zone 4 selbst ist in diesen Ausführungsbeispiel undotiert und kann aus einer einzelnen Schicht aus  $(\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z})\text{InP}$  oder aus  $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})\text{InP}$ -Quantenfilmen mit  $(\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b})\text{InP}$ -Barrieren bestehen, wobei  $0 \leq a \leq b \leq 1$  gilt. Darauf befindet sich die obere Mantelschicht 3 aus gitterangepaßtem  $(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})\text{InP}$  mit höherem Bandabstand als die aktive Zone 4 vergleichbar der unteren Mantelschicht 5, jedoch p-dotiert.

Als spezielle Ausgestaltung der Schichtanordnung 1 ist aus p-dotiertem GaP gefolgt von AlP. Da dieses Materialsystem eine kleinere Gitterkonstante als GaAs bzw.  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{InP}$  besitzt, wird zunächst eine Übergangsschicht 2 aus GaP dünn aufgewachsen in der sich die neue Gitterkonstante einstellen soll.

Dann wird die Schichtanordnung 1 in wechselnden paarweisen Schichten aus GaP und AlP, jeweils p-dotiert aufgebracht.

Die **Fig. 2** ermöglicht einen Vergleich der verschiedenen Brechungsindexverläufe über eine Schichtanordnung gemäß dem Stand der Technik (**Fig. 2a**) mit einer erfindungsgemäßen Schichtanordnung (**Fig. 2b**).

Die Brechungsindizes sind für die tieferliegende Halbleiterschicht 3 etwa 3,5 in beiden Fällen, für die

– in **Fig. 2a** gezeigten dielektrischen  $\lambda/4$ -Schichten 1.Hi ( $\approx 2,5$ ) und 1.Lo ( $\approx 1,5$ )

– in **Fig. 2b** gezeigten halbleitenden  $\lambda/4$ -Schichten 1.Hi ( $\approx 3,35$ ) und 1.Lo ( $\approx 3,275$ )

sowie für den äußeren Stoff (Luft, Epoxid) jeweils mit rund 1 angedeutet. Der Verlauf in Fig. 2a entspricht der Anti-Reflex-Schichtanordnung gemäß der EP 0 349 193, welche zwei Paare dielektrischer  $\lambda/4$ -Schichten aufweist. Die Brechungsindizes der beiden  $\lambda/4$ -Schichten sind dabei deutlich unterschiedlich. Demgegenüber weisen die halbleitenden  $\lambda/4$ -Schichten, wie in Fig. 2b gezeigt, beide relativ hohe und insbesondere weniger stark wechselnde Brechungsindizes auf. Die Abfolge der  $\lambda/4$ -Schichten gegenüber dem Halbleitersubstrat ist jedoch für dieses Ausführungsbeispiel grundlegend gleich.

GaP und AlP als Ausführungsbeispiel weisen einen Brechungsindexunterschied ( $\approx 0,075$ ) auf, auch wenn dieser gegenüber dem bei dielektrischen Materialien ( $\approx 1,0$ ) viel geringer ist. Deshalb werden entsprechend mehr Paare von  $\lambda/4$ -Schichten verwendet, deren Anzahl sich letztlich immer in Abhängigkeit von den technisch real realisierbaren Brechungsindizes abhängt. Bei GaP auf  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$  wären bspw. noch mehr Paare erforderlich.

Fig. 3 verdeutlicht den Verlauf der Reflexion der Schichtanordnung in Abhängigkeit von der Schichtenanzahl. So wird die Anzahl von 0 bis 40 Schichtpaaren variiert.

Beim direkten Aufeinandertreffen des Halbleitermaterials ( $n \approx 3,5$ ) auf den äußeren Stoff ( $n \approx 1$ ) ist die Reflexion 30%. Die Funktion f1 verdeutlicht die zunehmende Reflexion der Schichtanordnung 1 ohne Berücksichtigung der Reflexion an der Lichtaustrittsgrenzfläche. Da jedoch die Reflexionen an der Schichtanordnung 1 aufgrund der gewählten Reihenfolge der Schichten gegenphasig zum bisher an der Grenzfläche reflektierten Licht ist, wird die Gesamtreflexion, dargestellt als Funktion f3, verringert. Würde die Schichtreihenfolge falsch gewählt, entsteht das Reflexionsverhalten eines Bragg-Reflektors, daß mit dem in Funktion f2 gezeigten vergleichbar ist und bei dem sich f1 quasi auf die 30% Konstante addiert.

Wählt man jedoch die Schichtenreihenfolge richtig (siehe Fig. 7a und 7b) und die Anzahl der Schichtpaare so groß, daß die Reflexion der Schichtanordnung der Grenzfläche entspricht, so kann zumindest theoretisch die Reflexion auf Null gesenkt und die Transitivität folglich auf 100% gesteigert werden. Die Fig. 3 macht außerdem deutlich, daß eine weitere Erhöhung der Schichtenanzahl zu einer zunehmenden Verschlechterung der Reflexionseigenschaften führt, da nunmehr die Reflektivität der Schichtanordnung dominant wird. Die genaue Anzahl von Schichtpaaren, für die die Reflexion zu Null wird, ist selbstverständlich von den exakten Brechungsindexwerten von Halbleiter, den  $\lambda/4$ -Schichten und dem äußeren Stoff abhängig. So wurde bei einem äußeren Stoff aus Luft ein Optimum von 25 Schichtpaaren für AlP/GaP- $\lambda/4$ -Schichten ermittelt, bei einer Epoxid- oder Silikonhülle ergaben 18 Schichtpaare das Optimum. Würden bspw. anstelle der Stoffe AlP und GaP in einem Fall ein  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ -Mischkristalle mit unterschiedlichen Kompositionen  $x$  verwendet, ändert sich die Optimalzahl wiederum leicht. So weist bspw.  $\text{Al}_1\text{Ga}_0\text{P}$  einen schlechteren elektrischen Widerstand als  $\text{Al}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{P}$  auf und könnte durch dieses ersetzt werden, wodurch nur geringfügig mehr Schichtpaare verwendet werden müßten.

Fig. 4 zeigt ergänzend die wellenlängenselektive Abhängigkeit bei unterschiedlich vielen Schichtpaaren an der Grenzfläche zu Luft. So ergibt sich für die Anzahl  $a = 0$  eine konstante Reflektivität von 30%, bei ca. 20 Schichtpaaren eine deutliche Absenkung bei der Wellenlänge  $\lambda_s$ , bei 80 Schichtpaaren jedoch eine deutliche Verschlechterung und Erhöhung. Außerdem ist in Fig. 4 das Verhalten auch für die von der Wellenlänge  $\lambda_s$  abweichenden Wellenanteile zu entnehmen. Die Dicke der  $\lambda/4$ -Schichten bestimmt dabei den Wellenlängenverlauf und die Lage von Wellenlänge  $\lambda_s$ .

Wählt man die Materialien der  $\lambda/4$ -Schichten außerdem noch so, daß zwischen ihnen eine Banddiskontinuität mit einer Anreicherungszone der Majoritätsladungsträger entsteht, so kann neben der Reflektivität auch die Stromausbreitung deutlich verbessert werden. Dies soll anhand der Fig. 5 visualisiert werden. In Fig. 5a wurde eine Abfolge von  $\lambda/4$ -Schichtpaaren 1.hi/1.lo, bspw. AlP/GaP-Paaren, dargestellt, zwischen denen sich jeweils in einer  $\lambda/4$ -Schicht 1.lo an der Seite zur anderen  $\lambda/4$ -Schicht 1.hi eine Majoritätsladungsträgeranreicherung und damit ein Stromkanal 1.3 ausbildet. Die daraus über die Anzahl der Schichtpaare entstehende stufenförmige Stromausbreitung  $i$  von der Austrittsfläche des Kontaktes 10 hin zu den tieferliegenden den Halbleiterschichten (2, 3, ...), ist skizzenhaft angedeutet, wobei natürlich die Stromausbreitung im dreidimensionalen Raum der Heterogrenzflächenschichtfolge quasi kegelförmig erfolgt. Die unterschiedlichen Bandabstände können durch unterschiedliche Halbleitermaterialien (z. B. AlP/GaP) oder unterschiedliche Kompositionen, also Mischungsverhältnisse eines Mischkristalls (z. B.  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$ /GaP) hervorgerufen werden.

Ladungsträger kommen somit in ein Gebiet sehr guter Leitfähigkeit (1.3), welches jeweils gefolgt wird durch ein Gebiet schlechterer Leitfähigkeit, so daß der Strom sich nicht geradlinig ausbreitet sondern seitlich abdriftet und so die Stromausbreitung erheblich verstärkt wird.

Fig. 5b verdeutlicht die unterschiedliche Leitfähigkeit, die zwischen einer sehr guten Leitfähigkeit  $S_{\text{high}}$  in der Anreicherungszone und einer recht schlechten Leitfähigkeit  $S_{\text{low}}$  in den Verarmungsgebieten schwankt. Zwar kann die durchschnittliche mittlere Leitfähigkeit gegenüber einer gleich dicken einfachen Halbleiterschicht durch diese Abfolge sich leicht erhöhen, was jedoch bei entsprechend begrenzter Anzahl von Schichtpaaren bzw. Heterogrenzschichtfolgen vernachlässigbar ist. Demgegenüber entsteht durch die lokale, sich immer auf die gesamte Heterogrenzfläche erstreckende Erhöhung der Leitfähigkeit eine starke Aufspreizung der Stromausbreitung, die nur unwesentlich davon beeinflusst wird, ob sich eine Verarmungszone oder das Halbleitermaterial mit quasi mittlerer Leitfähigkeit anschließt. Aus Fig. 5c kann man im Bändermodell, bestehend aus dem Energieniveau des Valenzbandes  $E_{\text{VB}}$ , des Fermi-Niveaus  $E_{\text{F}}$  und des Leitungsbandes  $E_{\text{LB}}$ , noch deutlicher die Abfolge von Anreicherungs- und Verarmungszone erkennen. Beide Halbleiterschichten 1.hi und 1.lo sind in diesem Ausführungsbeispiel p-dotiert (Fermi-Niveau in der Nähe des Valenzbandes).

Fig. 6a zeigt im Detail (D1 in Fig. 5) noch einmal die Stromausbreitung an einer Heterogrenzschicht und Fig. 6b die entsprechende Diskontinuität des Bändermodells und die Majoritätsladungsträgeranreicherung (vergleichbar mit Detail D2 in Fig. 5). So wird in Fig. 6a die laterale Stromausbreitung 4.6 innerhalb der Heterogrenzfläche der gestrichelt angedeuteten normalen Stromausbreitung (5.6) ohne den zweidimensionalen Stromkanal gegenübergestellt. Deutlich erkennbar ist dabei, daß sich auf der Seite der Heterogrenzfläche mit der Anreicherung von Majoritätsladungsträgern in unmittelbarer Nähe zur Heterogrenzfläche eine seitliche Stromdrift einstellt. Betrachtet man das Bändermodell gemäß Fig. 6b dazu, so wird die Diskontinuität der Majoritätsladungsträger, hier die Anreicherung der Elektronen bei n-dotierten Materialien deutlich. Bei p-dotierten Materialien, wie in den Fig. 1 bis 5 bisher beschrieben, wäre dies eine Anreicherung von Löchern im Valenzband, wie in D2 in Fig. 5c zu erkennen. Die Diskontinuität 6.6 kann dabei sogar das Fermi-Niveau ( $E_{\text{F}}$ ) erreichen und überschreiten, wodurch die Anzahl der freien Majoritätsladungsträger stark ansteigt. Jedoch bereits bei einer geringe-



ren Diskontinuität kann eine laterale Stromausbreitung an der Heterogrenzfläche grundsätzlich beobachtet werden, wenn auch nicht so stark wie bei einem zweidimensional frei beweglichen Elektronengas. Die der Anreicherungszone 6.6 gegenüberliegende Verarmungszone 7.6 hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Stromausbreitung, erhöht letztlich nur geringfügig den Gesamtwiderstand der Schichtenfolge. Die Schichtanordnung 1 weist somit sowohl eine verringerte Reflektivität als auch eine verbesserte Stromausbreitung auf.

Hinzuweisen ist auf die einfache Realisierung dieser Schichtanordnung 1 aus GaP und AlP, da die chemischen atomaren Grundbestandteile (Ga, Al, P) Stoffe bereits für die Herstellung der anderen Halbleiterschichten (aktive Schicht  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{InP}$  weist alle diese Grundbestandteile auf) zur Verfügung stehen und somit keine Anpassungen außer der entsprechenden Ansteuerung der Epitaxie durchgeführt werden müssen. Grundsätzlich können auch die Heterogrenzschichten aus unterschiedlichen Kompositionen eines Mischkristalls bestehen, sofern sich an der Heterogrenzfläche die erforderliche Banddiskontinuität einstellt. Die Grundbestandteile müssen auch nicht zwangsweise alle in einer einzigen Schicht gemeinsam auftreten, sondern nur für den Epitaxieprozeß insgesamt, was durch das Auftreten in mehreren unterschiedlichen Schichten möglich ist.

Die Fig. 7, bestehend aus den Fig. 7a ohne und 7b mit der einzelnen zusätzlichen  $\lambda/4$ -Schicht 1.z., zeigt noch einmal die beiden möglichen Schichtanordnungen, wobei in Fig. 7a eine geradzahlige Schichtenanzahl  $x$  entsprechend dem Doppelten der Paaranzahl  $a$  verwendet wird, währenddessen die Schichtenanzahl bei Fig. 7b ungerade und um Eins erhöht (bzw. erniedrigt) ist.

#### Patentansprüche

1. Lichtemittierende Halbleiterdiode (LED) mit einer Licht der Wellenlänge  $\lambda$  emittierenden optisch aktiven Zone und einer Lichtaustrittsgrenzfläche zwischen dem Halbleitermaterial mit einem hohen Brechungsindex und einem äußeren Stoff mit einem geringeren Brechungsindex, wobei zwischen der Lichtaustrittsgrenzfläche und der optisch aktiven Zone eine Schichtanordnung zur Herabsetzung der auftretenden Reflexion der Lichtwellen vorgesehen ist, bei der die Schichtanordnung aus wenigstens einem Paar aus einer ersten  $\lambda/4$ -Schicht mit einem hohen Brechungsindex und darauf einer zweiten  $\lambda/4$ -Schicht mit einem niedrigeren Brechungsindex besteht, die beide jeweils eine optische Dicke von einem Viertel der Wellenlänge der Lichtwellen oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon aufweisen, wobei die Paare so übereinander angeordnet sind, daß die Schichten jeweils wechseln und die oberste  $\lambda/4$ -Schicht, die mit dem äußeren Stoff über die Lichtaustrittsfläche in Berührung steht, eine  $\lambda/4$ -Schicht mit niedrigem Brechungsindex ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die  $\lambda/4$ -Schichten parallel zur aktiven Zone angeordnet und aus elektrisch leitfähigem Halbleitermaterial sind.
2. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Paare aus je einer ersten und einer zweiten  $\lambda/4$ -Schicht jeweils aufeinander angeordnet werden, wobei auf dem Halbleitermaterial mit hohem Brechungsindex eine erste  $\lambda/4$ -Schicht mit einem hohen Brechungsindex abgeschieden wird.
3. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Paare aus je ei-

ner ersten und einer zweiten  $\lambda/4$ -Schicht jeweils aufeinander angeordnet werden und zusätzlich auf dem Halbleitermaterial mit hohem Brechungsindex eine einzelne, weitere  $\lambda/4$ -Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex abgeschieden wird.

4. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl der Paare in der Schichtanordnung oder/und der Brechungsindexunterschied zwischen der ersten und zweiten  $\lambda/4$ -Schicht so gewählt werden, daß die Amplitude des insgesamt von der Schichtanordnung reflektierten Lichtes mit der Amplitude des reflektierten Lichtes der Lichtaustrittsgrenzfläche möglichst genau übereinstimmt.

5. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden  $\lambda/4$ -Schichten der Schichtanordnung epitaktische Halbleiterschichten sind, deren chemische atomare Grundbestandteile vorzugsweise nicht über die chemischen atomaren Grundbestandteile der Halbleiterdiode hinausgehen.

6. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Materialien oder Materialgemische der zwei  $\lambda/4$ -Schichten so gewählt werden, daß sich zwischen diesen eine Banddiskontinuität mit einer Anreicherungszone für die Majoritätsladungsträger ausbildet.

7. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

die aktive Zone der Halbleiterdiode aus einer Komposition von Aluminium-Gallium-Indium-Phosphid  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{InP}$  besteht, wobei  $x$  das Mischungsverhältnis zwischen Aluminium und Gallium angibt und zwischen Null und Eins liegen kann, und daß

zwischen 5 und 30 Paaren aus je einer ersten  $\lambda/4$ -Schicht aus Galliumphosphid (GaP) und einer zweiten  $\lambda/4$ -Schicht aus Aluminiumphosphid (AlP) oder Aluminium-Gallium-Phosphid  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P})$  jeweils aufeinander angeordnet werden.

8. Lichtemittierende Halbleiterdiode nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen 23 bis 28 Paare aus GaP/AlP verwendet werden, wenn der äußere Stoff Luft ist und 15 und 20 Paare, wenn der äußere Stoff lichtdurchlässige Epoxid- oder Silikonmasse ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

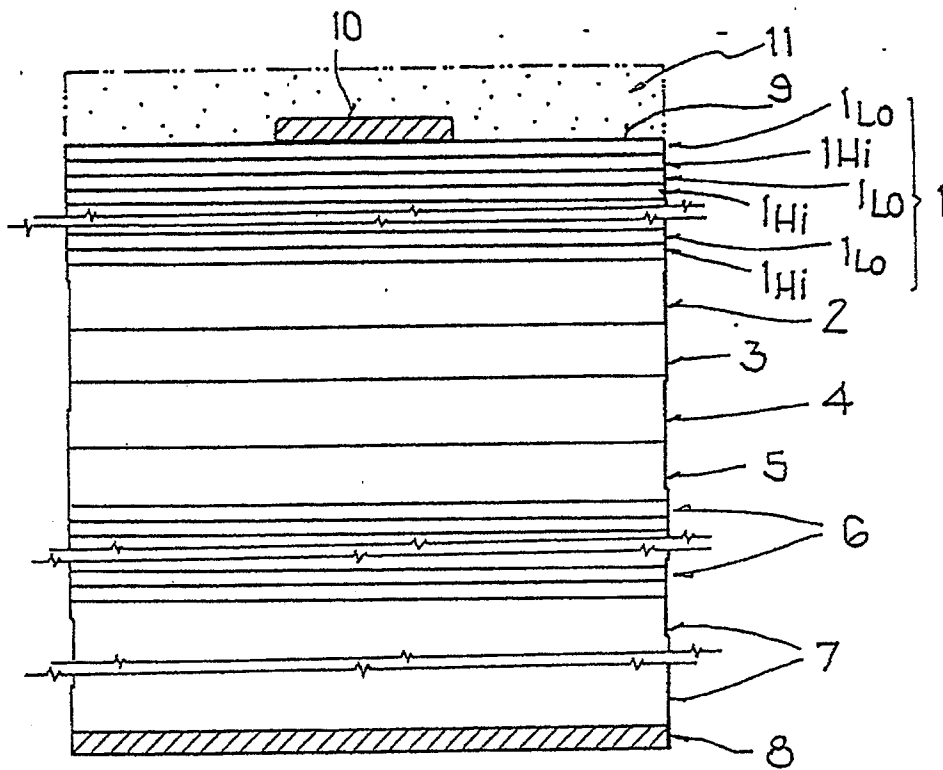


FIG. 1

FIG. 2a

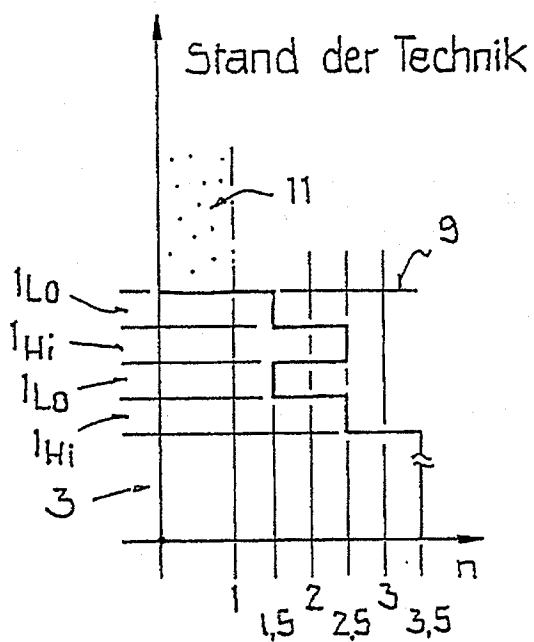
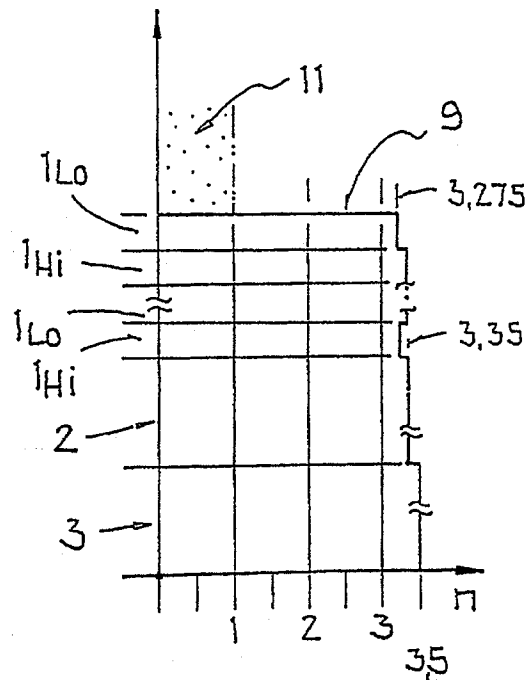
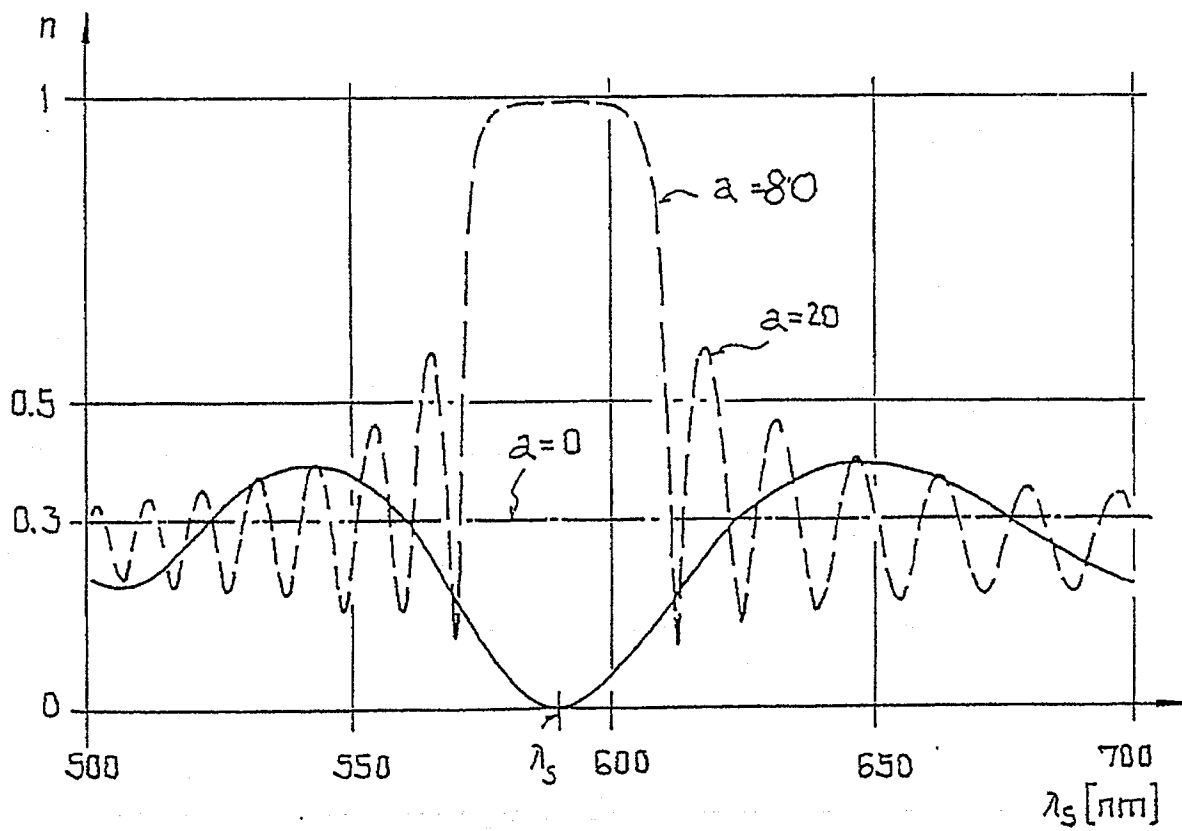
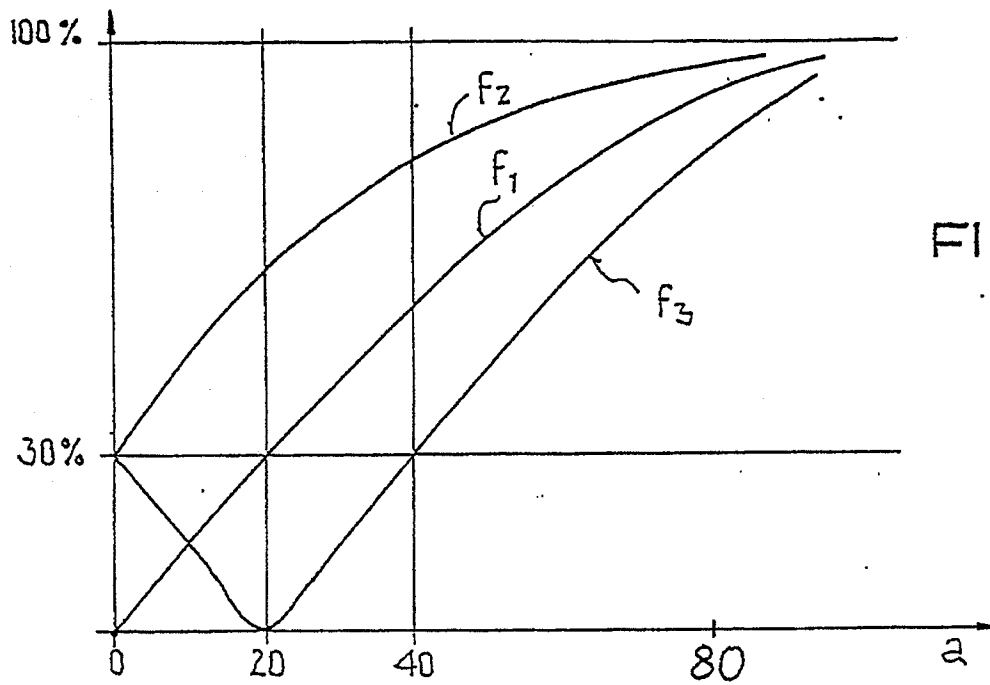


FIG. 2b





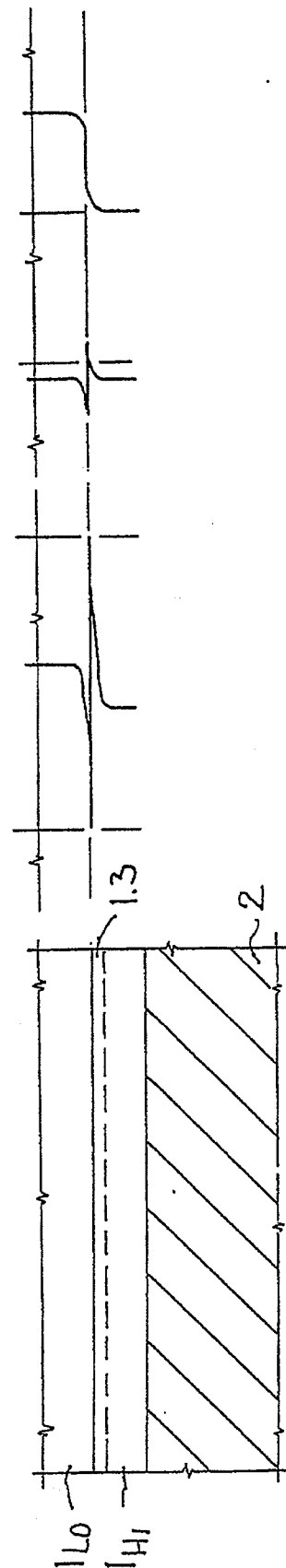
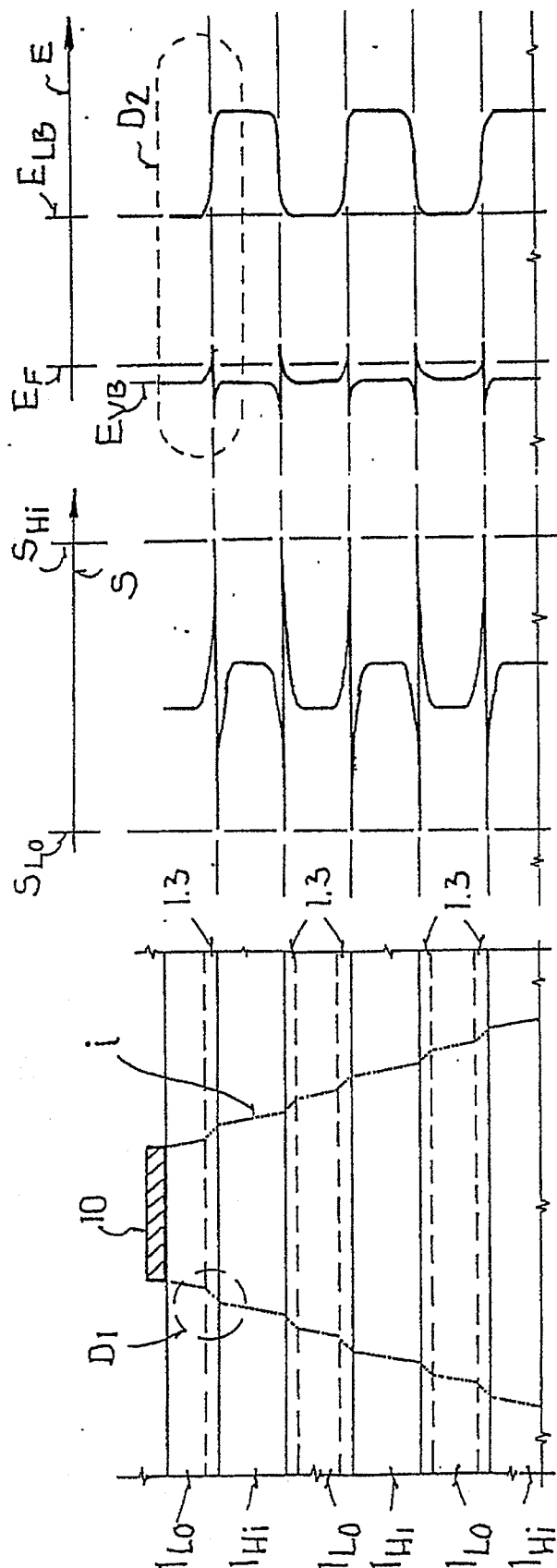


FIG. 5c

FIG. 5b

FIG. 5a

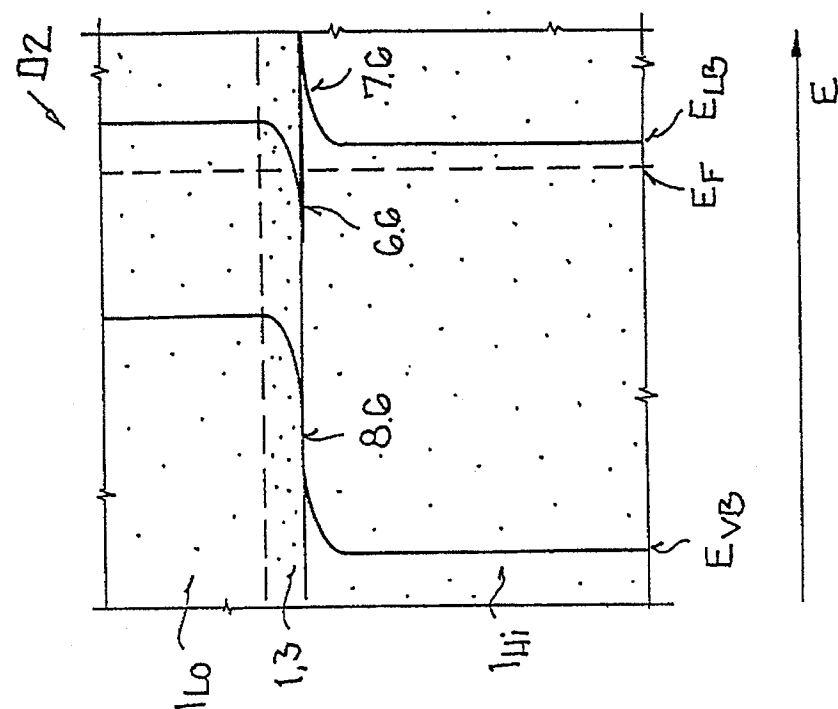


FIG. 6a

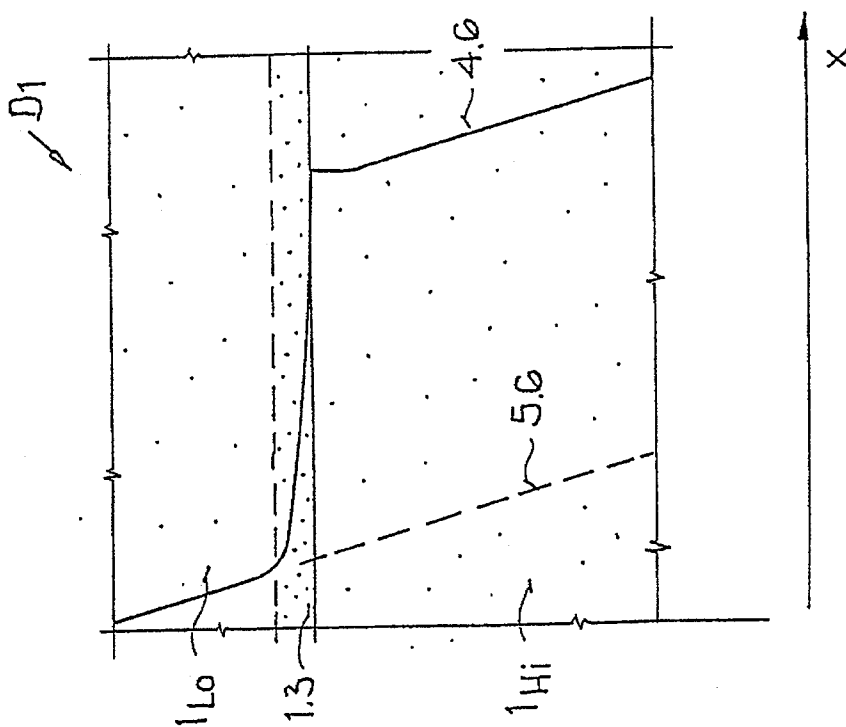


FIG. 6b

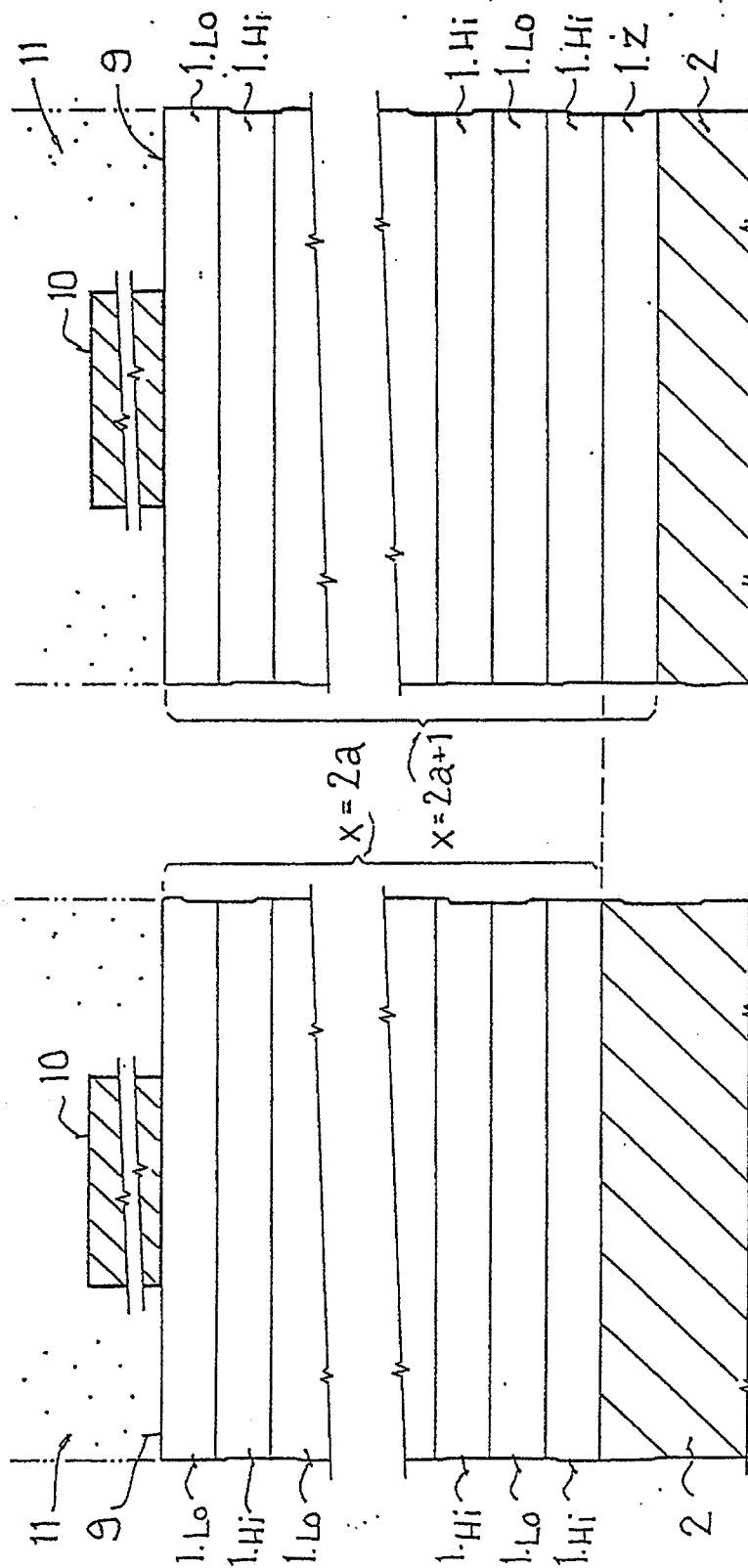


FIG. 7b

FIG. 7a